

(19) Japanese Patent Office (JP)

5 (11) Laid-open patent application No.: H5-266724  
(43) Laid-open date: 15th October 1993

	(51)	Int. Cl. <sup>5</sup>	ID code	JPO Ref. No.	FI
10		H01B	9/00	A	7244-5G
			3/44	P	9059-5G
				F	9059-5G
	//	C08K	5/00		
		C08L	23/04	KEG	7107-4J

Examination request:	Not requested
Number of claims:	4
(Total 8 pages of Japanese)	

20

(21) Application No.: H4-93896  
(22) Application date: 19th March 1992

25

(72) Applicant: 000002130  
Sumitomo Electric Industries Ltd.,  
4-5-33 Kitahama, Chuo-ku, Osaka-shi,  
Osaka-fu

30

(72) Inventor: T. Uozumi  
c/o Sumitomo Electric Industries Ltd.,  
Osaka Works, Shimaya 1-1-3,  
Konohana-ku, Osaka-shi

35

(72) Inventor: T. Yasuda  
c/o Sumitomo Electric Industries Ltd.,  
Osaka Works, Shimaya 1-1-3,  
Konohana-ku, Osaka-shi

(72) Inventor: Y. Yamada  
c/o Sumitomo Electric Industries Ltd.,  
Osaka Works, Shimaya 1-1-3,  
Konohana-ku, Osaka-shi  
5 (74) Agent: Patent Attorney A. Wada

(54) [Title of the Invention] DC power cable

(57) [Abstract]

5 [Aim] To provide a DC high-voltage cable that can prevent space charge accumulation when a DC high voltage is applied, and whose heat resistance is equally as good as that of XLPE-insulated cable.

10 [Constitution] First Invention: The insulator of a DC power cable is formed from an electrically insulating resin product made by incorporating up to 10 parts by weight of a polar monomer into 100 parts by weight of polyethylene, thereby forming a DC power cable that can prevent space charge accumulation when a DC high voltage is applied, and whose heat resistance is equally as good as that of XLPE-insulated cable. Second Invention: The insulator of a DC power cable is formed from a cross-linked resin composition produced by applying heat to cross-link a resin composition comprising a polar monomer, polyethylene and an organic  
15 peroxide, thereby forming a DC power cable with superior DC characteristics including space charge accumulation, and which has good heat resistance.

[Scope of Patent Claims]

[Claim 1] A DC power cable, characterized in that its insulator is an electrically insulating resin product made by incorporating up to 10 parts by weight of a polar monomer into 100 parts by weight of polyethylene.

- 5 [Claim 2] A DC power cable, characterized in that its insulator is a cross-linked resin composition produced by applying heat to cross-link a resin composition comprising a polar monomer, polyethylene and an organic peroxide.

[Claim 3] A DC power cable according to Claim 1 or 2, characterized in that its  
10 parts by weight of vinyl acetate as a polar monomer into 100 parts by weight of polyethylene.

[Claim 4] A DC power cable according to Claim 2, characterized in that the organic peroxide used has a half-life of at least 5 hours at 130°C.

[Detailed Description of the Invention]

- 15 [0001]

[Field of Industrial Use] This invention relates to a DC power cable.

[0002]

[Prior Art] For long-distance high-capacity power transmission applications, DC power transmission is considered to be better than AC power transmission for  
20 various reasons, such as the absence of inductive losses, the lack of a requirement for facilities to compensate the charging current for reactive components, and the high stable dielectric strength of the insulation.

[0003] At present, oil-filled cables comprising paper and a low viscosity insulating oil have mainly been used as high voltage DC cables for DC power transmission,  
25 but these require oil supply facilities and are awkward to maintain.

[0004] On the other hand, for maintenance-free plastic insulated cables, cross-linked polyethylene (XLPE) cables are widely used as DC power cables, and are being developed into ultra-high voltage cables that rival the performance of oil-filled cables.

30 [0005] However, the application of such cables to high voltage DC power transmission has been limited because of problems such as their space charging characteristic with respect to DC voltages.

[0006] This is because a space charge of opposite polarity builds up in the insulator when a DC voltage is applied to an XLPE cable, and because there is a pronounced  
35 drop in the insulation characteristics when there is a reverse polarity impulse or when the DC polarity is inverted.

[0007] For the above reasons, there is a need for the development of a solid insulated cable to replace conventional XLPE cable.

[0008]

[Problems Addressed by the Invention] Although it is generally assumed that the insulation voltage strength of polyethylene increases as the degree of crystallinity increases, it appears that the space charge formed by the injection of charge from the electrodes when a DC voltage is applied is easily trapped at locations such as the interfaces between crystalline and non-crystalline polyethylene regions.

[0009] Another problem is that cross-linking processes have been adopted as a means of resisting thermal deformation that is liable to occur when the cable is heated by excessive current and the like, but the decomposition residues of the organic peroxides used as cross-linking agents are known to increase the formation of space charges.

[0010] Studies conducted by the present inventors in the light of such problems focused on the fact that the space charge characteristics are changed by polar groups, which offers a way of reducing the effects of decomposition residues and makes it possible to improve the DC characteristics by incorporating a specific polar group into non-polar polyethylene.

[0011] Therefore, one aim of this invention is to obtain an insulator with strong insulation characteristics and good heat resistance by designating a polar group that is introduced into the polyethylene and limiting the amount thereof that is incorporated, thereby suppressing the accumulation of space charge in the insulator, and by using an organic peroxide whose decomposition residues have little effect. Another aim of this invention is to provide a DC power cable having high performance characteristics by using this insulator.

[0012]

[Means of Solving the Problems] To solve the above problems, the first invention employs a configuration wherein the insulator is an electrically insulating resin product made by incorporating up to 10 parts by weight of a polar monomer into 100 parts by weight of polyethylene.

[0013] The second invention employs a configuration wherein the insulator is a cross-linked resin composition produced by applying heat to cross-link a resin composition comprising a polar monomer, polyethylene and an organic peroxide.

[0014]

[Action] Since the carbonyl groups of the vinyl acetate, which is a polar monomer, act as polar groups and are uniformly distributed throughout the material, it is possible to prevent localized traps for the space charge.

[0015] There is also little space charge accumulation in the decomposition residues of the organic peroxide with a high decomposition temperature, which improves the DC breakdown strength and reduces this sort of space charge.

[0016]

[Embodiments] Embodiments of this invention are described below.

[0017] First Embodiment

5 The DC power cable according to the first embodiment has a structure wherein an electrically insulating resin product obtained by incorporating up to 10 parts by weight of a polar monomer into 100 parts by weight of polyethylene is used to form the insulator.

10 [0018] Vinyl acetate is used as the polar monomer in the formation of the abovementioned insulator, and it is known that the substance obtained by incorporating up to 10 parts by weight of vinyl acetate into polyethylene has superior DC properties including those relating to space charge accumulation.

15 [0019] If too much vinyl acetate is incorporated, then there is a danger that the physical properties such as crystallinity will deteriorate, leading to a corresponding reduction in the electrical voltage resistance performance at high temperature, so a suitable value is up to 10 parts by weight. Stabilizers and the like that are normally added to insulating materials may also be added without causing problems.

[0020] Note that the amounts of polar monomer and any additional stabilizers and the like incorporated into the insulator are the same in the following embodiments.

20 [0021] Since the carbonyl groups in the vinyl acetate incorporated into the polyethylene act as polar groups and are uniformly distributed throughout the material, it is possible to prevent local traps for the space charge, thereby reducing the space charge and improving the DC breakdown characteristics.

[0022] Table 1 compares the first embodiment with comparative examples. This is described in detail below.

25 [0023] For the test samples, we used sheets made by hot pressing of polyethylene incorporating vinyl acetate at 120°C for 30 minutes. The space charge accumulation was evaluated by using a pulse static electricity response method after applying a voltage of 40 kV to a 2 mm sheet. The quantity of accumulated charge is indicated by the number of "+" symbols. The DC breakdown value was  
30 measured at 90°C using a 0.2 mm sheet.

[0024]

[Table 1]

**Table 1**  
**First Embodiment and Comparative Examples**

Sample	Amount of vinyl acetate incorporated (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	DC breakdown value (kV/mm)	Space charge quantity
Embodiment 1a	0.5	0.92	140	—
Comparative example 1	—	0.92	118	R+++
Embodiment 1b	5.0	0.92	138	—
Embodiment 1c	10.0	0.93	135	—
Comparative example 2	15.0	0.93	120	M+

5

[0025] Description of wording in the table

Space charge: M = Homogeneous charge distribution

R = Heterogeneous charge distribution

[0026] Table 1 shows the results of measuring the space charge distribution. A homogeneous charge distribution is where the charge that accumulates in the vicinity of the electrodes has the same polarity as the applied voltage, and a heterogeneous charge distribution is where the charge has opposite polarity to the applied voltage.

[0027] Second Embodiment

15 The DC power cable according to the second embodiment has a structure wherein the insulator is formed by using a cross-linked resin composition which is cross-linked using 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxine)hexyne-3 as the organic peroxide used as a cross-linking agent in a mixture obtained by incorporating up to 10 parts by weight of vinyl acetate as a polar monomer into 100 parts by weight of polyethylene.

20

[0028] In the formation of the abovementioned insulator, stabilizers and the like that are normally added to insulating materials may also be added without causing

problems, the carbonyl groups of the vinyl acetate act as polar groups, making it possible to prevent local traps for the space charge, and the decomposition residues of the organic peroxide which has a high decomposition temperature result in little space charge accumulation and superior DC characteristics including space charge  
5 accumulation, and by reducing the space charge accumulation the DC breakdown strength is improved.

[0029] Table 2 compares this second embodiment with comparative examples. This is described in detail below.

[0030] For the test samples, we used sheets made by hot pressing of a composition  
10 comprising polyethylene incorporating vinyl acetate mixed with 1 part by weight of 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxine)hexyne-3 (YPO) and dicumyl alcohol (DCP) as a cross-linking agent at 180°C for 30 minutes. The space charge accumulation was evaluated by using a pulse static electricity response method after applying a voltage of 40 kV to a 2 mm sheet. The quantity of accumulated charge is indicated  
15 by the number of "+" symbols. The DC breakdown value was measured at 90°C using a 0.2 mm sheet.



[0031]

[Table 2]

**Table 2**  
**Second Embodiment and Comparative Examples**

Sample	Amount of vinyl acetate incorporated (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Organic peroxide DCP YPO	DC breakdown value (kV/mm)	Space charge quantity
Comparative example 1	—	0.92	1	120	R+++
Embodiment 2a	0.5	0.92	1	140	M+
Comparative example 2	0.5	0.92	1	118	R++++
Embodiment 2b	10.0	0.93	1	135	M+
Comparative example 4	15.0	0.93	1	120	M++

5

[0032] Description of wording in the table

DCP: Dicumyl peroxide (Half-life at 130°C: 1.8 hours)

YPO: 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxine)hexyne-3 (Half-life at 130°C: 8.6 hours)

10 Space charge: M = Homogeneous charge distribution  
R = Heterogeneous charge distribution

[0033] Table 2 shows the results of measuring the space charge distribution. A homogeneous charge distribution is where the charge that accumulates in the vicinity of the electrodes has the same polarity as the applied voltage, and a heterogeneous charge distribution is where the charge has opposite polarity to the applied voltage.

15

[0034] Third Embodiment

The DC power cable according to the third embodiment has a structure wherein the insulator is formed by using an electrically insulating resin composition using

acrylic acid as the polar monomer wherein up to 10 parts by weight of acrylic acid are incorporated into 100 parts by weight of polyethylene.

[0035] In the formation of the abovementioned insulator, the carbonyl groups of the acrylic acid act as polar groups and are uniformly distributed throughout the material, making it possible to prevent local traps for the space charge, and by reducing the space charge the DC breakdown strength is improved.

[0036] Table 3 compares this third embodiment of the invention with comparative examples. This is described in detail below.

[0037] For the test samples, we used sheets made by hot pressing of a composition comprising polyethylene incorporating acrylic acid at 120°C for 30 minutes. The space charge accumulation was evaluated by using a pulse static electricity response method after applying a voltage of 40 kV to a 2 mm sheet. The quantity of accumulated charge is indicated by the number of "+" symbols. The DC breakdown value was measured at 90°C using a 0.2 mm sheet.

[0038]

[Table 3]

**Table 3**  
**Third Embodiment and Comparative Examples**

Sample	Amount of acrylic acid incorporated (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	DC breakdown value (kV/mm)	Space charge quantity —
Embodiment 3a	0.5	0.92	145	
Comparative example 1	—	0.92	118	R+++
Embodiment 3b	5.0	0.92	140	—
Embodiment 3c	10.0	0.93	140	
Comparative example 2	15.0	0.93	120	M+

[0039] Description of wording in the table

Space charge: M = Homogeneous charge distribution  
R = Heterogeneous charge distribution

[0040] Table 3 shows the results of measuring the space charge distribution. A homogeneous charge distribution is where the charge that accumulates in the vicinity of the electrodes has the same polarity as the applied voltage, and a heterogeneous charge distribution is where the charge has opposite polarity to the applied voltage.

[0041] Fourth Embodiment

The DC power cable according to the fourth embodiment has a structure wherein acrylic acid is used as the polar monomer and the insulator is formed by using a cross-linked resin composition made by applying heat to cross-link a resin composition comprising this acrylic acid, polyethylene and an organic oxide.

[0042] In the formation of the abovementioned insulator, up to 10 parts by weight of acrylic acid is incorporated into 100 parts by weight of polyethylene, and an organic oxide having a half-life of at least 5 hours at 130°C is used.

[0043] By using an insulator wherein a cross-linked resin composition wherein 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxine)hexyne-3 is used as the organic peroxide used as a cross-linking agent in a mixture wherein acrylic acid is incorporated into polyethylene under the above conditions, it is possible to obtain superior DC characteristics including space charge accumulation and to prevent localized traps for the space charge; moreover, the decomposition residues of the organic peroxide which has a high decomposition temperature result in less space charge accumulation and improved DC breakdown strength.

[0044] Table 4 compares this fourth embodiment with comparative examples. This is described in detail below.

[0045] For the test samples, we used sheets made by hot pressing of a composition comprising polyethylene incorporating acrylic acid mixed with 1 part by weight of 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxine)hexyne-3 (YPO) and dicumyl alcohol (DCP) as a cross-linking agent at 180°C for 30 minutes. The space charge accumulation was evaluated by using a pulse static electricity response method after applying a voltage of 40 kV to a 2 mm sheet. The quantity of accumulated charge is indicated by the number of "+" symbols. The DC breakdown value was measured at 90°C using a 0.2 mm sheet.

[0046]

[Table 4]

**Table 4**

**Fourth Embodiment and Comparative Examples**

Sample	Amount of acrylic acid incorporated (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Organic peroxide DCP YPO	DC breakdown value (kV/mm)	Space charge quantity
Comparative example 1	—	0.92	1	120	R+++
Embodiment 4a	0.5	0.92	1	145	M+
Comparative example 2	0.5	0.92	1	115	R++++
Embodiment 4b	10.0	0.93	1	140	M+
Comparative example 4	15.0	0.93	1	120	M++

5

[0047] Description of wording in the table

DCP: Dicumyl peroxide (Half-life at 130°C: 1.8 hours)

YPO: 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxine)hexyne-3 (Half-life at 130°C: 8.6 hours)

10 Space charge: M = Homogeneous charge distribution

R = Heterogeneous charge distribution

[0048] Table 4 shows the results of measuring the space charge distribution. A homogeneous charge distribution is where the charge that accumulates in the vicinity of the electrodes has the same polarity as the applied voltage, and a heterogeneous charge distribution is where the charge has opposite polarity to the applied voltage.

15 [0049] Fifth Embodiment

The DC power cable according to the fifth embodiment has a structure wherein the insulator is formed by using an electrically insulating resin product made using benzoic acid as the polar monomer wherein up to 10 parts by weight of benzoic acid are incorporated into 100 parts by weight of polyethylene; the carbonyl groups

20

in the benzoic acid act as polar groups and improve the DC breakdown strength in the same way as in the third embodiment.

[0050] Table 5 compares this fifth embodiment of the invention with comparative examples. This is described in detail below.

- 5 [0051] For the test samples, we used sheets made by hot pressing of polyethylene incorporating benzoic acid at 120°C for 30 minutes. The space charge accumulation was evaluated by using a pulse static electricity response method after applying a voltage of 40 kV to a 2 mm sheet. The quantity of accumulated charge is indicated by the number of "+" symbols. The DC breakdown value was  
10 measured at 90°C using a 0.2 mm sheet.

[0052]

[Table 5]

**Table 5**  
**Fifth Embodiment and Comparative Examples**

Sample	Amount of benzoic acid incorporated (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	DC breakdown value (kV/mm)	Space charge quantity
Embodiment 5a	0.5	0.92	140	
Embodiment 1	—	0.92	118	R+++
Embodiment 5b	5.0	0.92	138	
Embodiment 5c	10.0	0.93	135	
Embodiment 2	15.0	0.93	120	M+

15

[0053] Description of wording in the table

Space charge: M = Homogeneous charge distribution

R = Heterogeneous charge distribution

- 20 [0054] Table 5 shows the results of measuring the space charge distribution. A homogeneous charge distribution is where the charge that accumulates in the vicinity of the electrodes has the same polarity as the applied voltage, and a heterogeneous charge distribution is where the charge has opposite polarity to the applied voltage.

[0055] Sixth Embodiment

The DC power cable according to the sixth embodiment has a structure wherein benzoic acid is used as the polar monomer and the insulator is formed by using a cross-linked resin composition made by applying heat to cross-link a resin composition comprising this benzoic acid, polyethylene and an organic oxide.

[0056] The mixing quantities of benzoic acid, polyethylene and organic oxide and the type of organic oxide in this sixth embodiment are the same as in the fourth embodiment.

[0057] Table 6 compares this sixth embodiment with comparative examples. This is described in detail below.

[0058] For the test samples, we used sheets made by hot pressing of a composition comprising polyethylene incorporating benzoic acid mixed with 1 part by weight of 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxine)hexyne-3 (YPO) and dicumyl alcohol (DCP) as a cross-linking agent at 180°C for 30 minutes. The space charge accumulation was evaluated by using a pulse static electricity response method after applying a voltage of 40 kV to a 2 mm sheet. The quantity of accumulated charge is indicated by the number of "+" symbols. The DC breakdown value was measured at 90°C using a 0.2 mm sheet.

[0059]

[Table 6]

**Table 6**  
**Sixth Embodiment and Comparative Examples**

Sample	Amount of benzoic acid incorporated (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Organic peroxide DCP YPO	DC breakdown value (kV/mm)	Space charge quantity
Comparative example 1	—	0.92	1	120	R+++
Embodiment 6a	0.5	0.92	1	142	M+
Comparative example 2	0.5	0.92	1	115	R++++
Embodiment 6b	10.0	0.93	1	138	M+
Comparative example 4	15.0	0.93	1	120	M++

5

[0060] Description of wording in the table

DCP: Dicumyl peroxide (Half-life at 130°C: 1.8 hours)

YPO: 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxine)hexyne-3 (Half-life at 130°C: 8.6 hours)

10 Space charge: M = Homogeneous charge distribution  
R = Heterogeneous charge distribution

[0061] Table 6 shows the results of measuring the space charge distribution. A homogeneous charge distribution is where the charge that accumulates in the vicinity of the electrodes has the same polarity as the applied voltage, and a heterogeneous charge distribution is where the charge has opposite polarity to the applied voltage.

15 [0062] Seventh Embodiment

The DC power cable according to the seventh embodiment has a structure wherein the insulator is formed by using an electrically insulating resin product made using naphthoic acid as the polar monomer wherein up to 10 parts by weight of

20

naphthoic acid are incorporated into 100 parts by weight of polyethylene; the carbonyl groups in the naphthoic acid act as polar groups and improve the DC breakdown strength in the same way as in the third embodiment.

[0063] Table 7 compares this seventh embodiment of the invention with comparative examples. This is described in detail below.

[0064] For the test samples, we used sheets made by hot pressing of polyethylene incorporating naphthoic acid at 120°C for 30 minutes. The space charge accumulation was evaluated by using a pulse static electricity response method after applying a voltage of 40 kV to a 2 mm sheet. The quantity of accumulated charge is indicated by the number of "+" symbols. The DC breakdown value was measured at 90°C using a 0.2 mm sheet.

[0065]

[Table 7]

Table 7

Seventh Embodiment and Comparative Examples

Sample	Amount of naphthoic acid incorporated (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	DC breakdown value (kV/mm)	Space charge quantity
Embodiment 7a	0.5	0.92	142	—
Embodiment 1	—	0.92	118	R+++
Embodiment 7b	5.0	0.92	138	—
Embodiment 7c	10.0	0.93	138	—
Embodiment 2	15.0	0.93	120	M+

[0066] Description of wording in the table

Space charge: M = Homogeneous charge distribution

R = Heterogeneous charge distribution

[0067] Table 7 shows the results of measuring the space charge distribution. A homogeneous charge distribution is where the charge that accumulates in the vicinity of the electrodes has the same polarity as the applied voltage, and a heterogeneous charge distribution is where the charge has opposite polarity to the applied voltage.



[0068] Eighth Embodiment: The DC power cable according to the eighth embodiment has a structure wherein naphthoic acid is used as the polar monomer and the insulator is formed by using a cross-linked resin composition made by applying heat to cross-link a resin composition comprising this naphthoic acid, polyethylene and an organic oxide.

[0069] The mixing quantities of naphthoic acid, polyethylene and organic oxide and the type of organic oxide in this eighth embodiment are the same as in the fourth embodiment.

[0070] Table 8 compares this eighth embodiment with comparative examples. This is described in detail below.

[0071] For the test samples, we used sheets made by hot pressing of a composition comprising polyethylene incorporating naphthoic acid mixed with 1 part by weight of 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxine)hexyne-3 (YPO) and dicumyl alcohol (DCP) as a cross-linking agent at 180°C for 30 minutes. The space charge accumulation was evaluated by using a pulse static electricity response method after applying a voltage of 40 kV to a 2 mm sheet. The quantity of accumulated charge is indicated by the number of "+" symbols. The DC breakdown value was measured at 90°C using a 0.2 mm sheet.

[0072]

[Table 8]

**Table 8**  
**Eighth Embodiment and Comparative Examples**

Sample	Amount of naphthoic acid incorporated (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Organic peroxide DCP YPO	DC breakdown value (kV/mm)	Space charge quantity
Comparative example 1	—	0.92	1	118	R+++
Embodiment 8a	0.5	0.92	1	142	M+
Comparative example 2	0.5	0.92	1	115	R++++
Embodiment 8b	10.0	0.93	1	140	M+
Comparative example 4	15.0	0.93	1	120	M++

5

[0073] Description of wording in the table

DCP: Dicumyl peroxide (Half-life at 130°C: 1.8 hours)

YPO: 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxine)hexyne-3 (Half-life at 130°C: 8.6 hours)

10 Space charge: M = Homogeneous charge distribution  
R = Heterogeneous charge distribution

[0074] Table 8 shows the results of measuring the space charge distribution. A homogeneous charge distribution is where the charge that accumulates in the vicinity of the electrodes has the same polarity as the applied voltage, and a heterogeneous charge distribution is where the charge has opposite polarity to the applied voltage.

15 [0075]

[Advantages of the Invention] As described in detail above, with the first invention, by using an electrically insulating resin composition wherein up to 10 parts by weight of polar monomer are incorporated into 100 parts by weight of polyethylene as the insulator, it is possible to prevent space charge accumulation

20

when a DC high voltage is applied, and it is possible to obtain a DC high voltage cable whose heat resistance properties are as good as those of XLPE insulated cable.

- 5 [0076] Also, with the second invention, by using a cross-linked resin composition obtained by applying heat to cross-link a resin composition comprising a polar monomer, polyethylene and an organic peroxide as the insulator, it is possible to have high insulation performance that is affected little by decomposition residues and to prevent space charge accumulation when a DC high voltage is applied, and it is possible to obtain a DC high voltage cable whose heat resistance properties are
- 10 as good as those of XLPE insulated cable.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-266724

(43) 公開日 平成5年(1993)10月15日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 B 9/00	A	7244-5G		
3/44	P	9059-5G		
	F	9059-5G		
// C 0 8 K 5/00				
C 0 8 L 23/04	K E G	7107-4 J		
審査請求 未請求 請求項の数4(全 8 頁)				

(21) 出願番号	特願平4-93896	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22) 出願日	平成4年(1992)3月19日	(72) 発明者	魚住 剛 大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内
		(72) 発明者	安田 則彦 大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内
		(72) 発明者	山田 有一 大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内
		(74) 代理人	弁理士 和田 昭

(54) 【発明の名称】 直流電力ケーブル

(57) 【要約】

【目的】 直流高電圧印加による空間電荷蓄積を防止でき、X L P E 絶縁ケーブルと同様に耐熱性のよい直流高電圧ケーブルを提供する。

【構成】 第1の発明-直流電力ケーブルの絶縁体が、ポリエチレン100重量部に対して極性モノマーを10重量部以下充填してなる電気絶縁性樹脂生成物で形成され、直流高電圧印加による空間電荷蓄積を防止でき、X L P E 絶縁ケーブルと同様に耐熱性の良い直流高電圧ケーブルとなる。第2の発明-直流電力ケーブルの絶縁体が極性モノマーとポリエチレンと有機過酸化合物からなる樹脂組成物を加熱により架橋させてなる架橋樹脂組成物で形成され、空間電荷蓄積を含めた直流特性に優れ、耐熱性のよい直流高電圧ケーブルとなる。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ポリエチレン100重量部に対して極性モノマーを10重量部以下充填してなる電気絶縁性樹脂生成物を絶縁体としたことを特徴とする直流電力ケーブル。

【請求項2】 極性モノマーとポリエチレンと有機過酸化化物からなる樹脂組成物を加熱により架橋させてなる架橋樹脂組成物を絶縁体としたことを特徴とする直流電力ケーブル。

【請求項3】 極性モノマーとして酢酸ビニルをポリエチレン100重量部に対して10重量部以下充填してなる電気絶縁性樹脂生成物を絶縁体としたことを特徴とする請求項1又は2に記載の直流電力ケーブル。

【請求項4】 有機過酸化として、130℃の半減期が5hr以上のものを用いたことを特徴とする請求項2に記載の直流電力ケーブル。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、直流電力ケーブルに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 長距離、大容量送電を目的とする場合、直流送電は交流に比べ絶縁体の誘電損失がなく、充電電流に対する無効分を補償するための設備が不要であり、また絶縁体の絶縁耐圧が高く安定である等種々の特徴から有利と考えられている。

【0003】 現在、直流送電のため、高電圧直流ケーブルは、おもに低粘度の絶縁油と紙からなるOFケーブルが用いられているが、給油設備が必要であり、メンテナンスが面倒である。

【0004】 一方、メンテナンスフリーであるプラスチック絶縁ケーブルは、交流電力ケーブルとして架橋ポリエチレン(XLPE)ケーブルが広く用いられており、OFケーブルに匹敵する超高電圧ケーブルまで開発されつつある。

【0005】 しかし、直流電圧に対する空間電荷特性等の問題から高電圧直流ケーブルとしては用途が限定されている。

【0006】 すなわち、XLPEケーブルでは直流高電圧印加によって絶縁体中に逆極性の空間電荷が蓄積され、逆極性のインパルスや直流極性反転がなされた場合、その絶縁特性の低下が著しいという理由からである。

【0007】 以上のような理由から、従来のXLPEケーブルにかわる固体絶縁ケーブルの開発が望まれている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 一般にポリエチレンの絶縁耐圧強度は、結晶化度が高い程高いとされているが、直流電圧を印加した場合、電極から電荷が注入され

て形成される空間電荷は、ポリエチレンの結晶と非晶の界面等にトラップされ易いと推定される。

【0009】 また、過電流が流れた場合等の加熱による変形等に耐えられるための対策として架橋処理がとられるが、架橋剤として用いられる有機過酸化物の分解残渣は空間電荷の形成を増大させることが知られている。

【0010】 このような観点から、本発明者等は、極性基により空間電荷特性が変えられることから、無極性のポリエチレンに特定の極性基を充填することにより、又、特定の有機過酸化物を用いることにより分解残渣の影響が少なくなり、直流特性の改善が可能であると考え検討を進めた。

【0011】 そこでこの発明は、ポリエチレンに導入する極性基を特定し、また充填量を限定し、絶縁体中の空間電荷の蓄積を抑制することにより、さらに分解残渣の影響の少ない有機過酸化物を用いることにより、高い絶縁特性をもち、かつ耐熱性の良い絶縁体を得、これを使用することにより、高性能の特性を有する直流電力ケーブルを提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】 上記のような課題を解決するため、第1の発明は、ポリエチレン100重量部に対して極性モノマーを10重量部以下充填してなる電気絶縁性樹脂生成物を絶縁体とした構成を採用したものである。

【0013】 同第2の発明は、極性モノマーとポリエチレンと有機過酸化物からなる樹脂組成物を加熱により架橋させてなる架橋樹脂組成物を絶縁体とした構成を採用したものである。

【0014】

【作用】 極性モノマーである酢酸ビニルのカルボニル基が極性基として働き、均一に材料中に分布するため、空間電荷の局所的なトラップを防止することができる。

【0015】 また、分解温度の高い有機過酸化物の分解残渣は空間電荷蓄積が少なくなり、このような空間電荷の低減により、直流破壊強度が改善される。

【0016】

【実施例】 以下、この発明の実施例を説明する。

【0017】 第1の実施例

第1の実施例における直流電力ケーブルは、ポリエチレン100重量部に対して極性モノマーを10重量部以下充填してなる電気絶縁性樹脂生成物を用いて絶縁体を形成した構造になっている。

【0018】 上記絶縁体の形成において、極性モノマーとして酢酸ビニルを用い、ポリエチレンに対して酢酸ビニルを10重量部以下を充填した物が、空間電荷蓄積を含めた直流特性に優れていることがわかった。

【0019】 酢酸ビニルの充填量が多すぎると結晶性等の物性が低下する恐れがあり、それに伴い高温での電気耐圧性能が低下する恐れがあることから10重量部以下

が適しており、通常絶縁材料に添加される安定剤なども添加されても問題はない。

【0020】なお、極性モノマーの充填量や安定剤の添加は以下の実施例でも同様である。

【0021】ポリエチレンに充填した酢酸ビニルのカルボニル基が極性基として働き、均一に材料中に分布するため、空間電荷の局所的なトラップを防止することができ、空間電荷の低減により直流破壊強度が改善される。

【0022】表1に第1の実施例と比較例について記し\*

表 1

第1の実施例と比較例

サンプル	酢酸ビニル充填量 (wt%)	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	DC破壊値 (kV/mm)	空間電荷量
実施例1a	0.5	0.92	140	—
比較例1	—	0.92	118	R+++
実施例1b	5.0	0.92	138	—
実施例1c	10.0	0.93	135	—
比較例2	15.0	0.93	120	M+

【0025】表中の語句の説明

空間電荷：M：ホモ電荷蓄積

R：ヘテロ電荷蓄積

【0026】表1は空間電荷分布の測定結果を示す。電極近傍に課電極性と同極性の電荷が蓄積される場合、ホモ電荷蓄積、その逆の場合、ヘテロ電荷蓄積。

【0027】第2の実施例

第2実施例における直流電力ケーブルは、ポリエチレン100重量部に極性モノマーとして酢酸ビニルを10重量部以下充填した混合物に架橋剤となる有機過酸化物として、2,5ジメチル2,5ジ(tert-ブチルペルオキシ)ヘキシン-3を用いて架橋させた架橋樹脂組成物を用いて絶縁体を形成した構造になっている。

【0028】上記絶縁体の形成において、通常絶縁材料に添加される安定剤などを添加されても問題はないと共に、酢酸ビニルのカルボニル基が極性基として働き、空間電荷の局所的なトラップを防止できると共に、分解温

\*た。以下に詳細に述べる。

【0023】実験サンプルは、酢酸ビニルを充填したポリエチレンを120℃30分の条件で熱プレスにより作成したシートを用いた。空間電荷蓄積の評価は2mmシートに40kV課電後、パルス静電応力法により測定した。蓄積電荷量の量は+の数で示した。DC破壊値は0.2mmシートを用いて90℃で測定した。

【0024】

【表1】

度の高い有機過酸化物の分解残渣は空間電荷蓄積が少なく、空間電荷蓄積を含めた直流特性に優れ、空間電荷の低減により、直流破壊強度が改善される。

【0029】表2にこの第2の実施例と比較例について記した。以下に詳細に述べる。

【0030】実験サンプルは、酢酸ビニルを充填したポリエチレンに架橋剤としてジクミルアルコール(DCP)、2,5ジメチル2,5ジ(tert-ブチルペルオキシ)ヘキシン-3(YPO)を1重量部混合したものを180℃30分の条件で熱プレスにより作成したシートを用いた。空間電荷蓄積の評価は2mmシートに40kV課電後、パルス静電応力法により測定した。蓄積電荷量の量は+の数で示した。DC破壊値は0.2mmシートを用いて90℃で測定した。

【0031】

【表2】

表 2  
第2の実施例と比較例

サンプル	酢酸ビニル充填量 (wt%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	有機過酸化物 DCP YPO	DC破壊値 (kV/mm)	空間電荷量
比較例1	—	0.92	1	120	R+++
実施例2a	0.5	0.92	1	140	M+
比較例2	0.5	0.92	1	118	R++++
実施例2b	10.0	0.93	1	135	M+
比較例4	15.0	0.93	1	120	M++

【0032】表中の語句の説明

DCP : ジクミルペルオキシド (130℃での半減期1.8hr)

YPO : 2,5 ジメチル2,5 ジ (t-ブチルペルオキシ)ヘキシン-3 (同8.6hr)

空間電荷 : M : ホモ電荷蓄積

R : ヘテロ電荷蓄積

【0033】表2は、空間電荷分布の測定結果を示す。電極近傍に異電極性と同極性の電荷が蓄積される場合、ホモ電荷蓄積、その逆の場合、ヘテロ電荷蓄積。

【0034】第3の実施例

第3の実施例における直流電力ケーブルは、極性モノマーとしてアクリル酸を用い、ポリエチレン100重量部に対してアクリル酸を10重量部以下充填してなる電気絶縁性樹脂生成物を用いて絶縁体を形成した構造になっている。

\* 【0035】上記絶縁体の形成において、アクリル酸のカルボニル基が極性基として働き、均一に材料中に分布するため、空間電荷の局所的なトラップを防止することができ、このような空間電荷の低減により直流破壊強度が改善される。

20 【0036】表3にこの発明の第3の実施例と比較例について記した。以下に詳細に述べる。

【0037】実験サンプルは、アクリル酸を充填したポリエチレンを120℃30分の条件で熱プレスにより作成したシートを用いた。空間電荷蓄積の評価は2mmシートに40kV帯電後、パルス静電応力法により測定した。蓄積電荷量の量は+の数で示した。DC破壊値は0.2mmシートを用いて90℃で測定した。

【0038】

【表3】

\* 30

表 3

第3の実施例と比較例

サンプル	アクリル酸充填量 (wt%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	DC破壊値 (kV/mm)	空間電荷量 —
実施例3a	0.5	0.92	145	
比較例1	—	0.92	118	R+++
実施例3b	5.0	0.92	140	—
実施例3c	10.0	0.93	140	
比較例2	15.0	0.93	120	M+

【0039】表中の語句の説明

空間電荷 : M : ホモ電荷蓄積

R : ヘテロ電荷蓄積

【0040】表3は空間電荷分布の測定結果を示す。電 50

極近傍に異電極性と同極性の電荷が蓄積される場合、ホモ電荷蓄積、その逆の場合、ヘテロ電荷蓄積。

【0041】第4の実施例

第4の実施例における直流電力ケーブルは、極性モノマ

ーとしてアクリル酸を用い、このアクリル酸とポリエチレンと有機過氧化物からなる樹脂組成物を加熱により架橋させてなる架橋樹脂組成物を用いて絶縁体を形成した構造になっている。

【0042】上記絶縁体の形成において、アクリル酸をポリエチレン100重量部に対して10重量部以下充填すると共に有機過氧化物として、130℃での半減期が5hr以上のものを用いる。

【0043】ポリエチレンにアクリル酸を上記の条件で充填した混合物に架橋剤となる有機過氧化物として、2, 5ジメチル2,5ジ(t-ブチルペルオキシ)ヘキシン-3を用いて架橋させた架橋樹脂組成物を絶縁体に用いることにより、空間電荷蓄積を含めた直流特性に優れ、空間電荷の局所的なトラップを防止し、また、分解温度の高い有機過氧化物の分解残渣は空間電荷蓄積が少な\*

\*く、直流破壊強度が改善される。

【0044】表4に本発明の第4の実施例と比較例について記した。以下に詳細に述べる。

【0045】実験サンプルは、アクリル酸を充填したポリエチレンに架橋剤としてジクミルアルコール(DCP), 2,5ジメチル2,5ジ(t-ブチルペルオキシ)ヘキシン-3(YPO)を1重量部混合したものを180℃30分の条件で熱プレスにより作成したシートを用いた。空間電荷蓄積の評価は2mmシートに40kV課電後、パルス静電応力法により測定した。蓄積電荷量の量は+の数で示した。DC破壊値は0.2mmシートを用いて90℃で測定した。

【0046】

【表4】

表 4

第4の実施例と比較例

サンプル	アクリル酸充填量 (wt%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	有機過氧化物 DCP YPO	DC破壊値 (kV/mm)	空間電荷量
比較例1	—	0.92	1	120	R+++
実施例4a	0.5	0.92	1	145	M+
比較例2	0.5	0.92	1	115	R++++
実施例4b	10.0	0.93	1	140	M+
比較例4	15.0	0.93	1	120	M++

【0047】表中の語句の説明

DCP : ジクミルペルオキシド (130℃での半減期1.8hr)

YPO : 2,5ジメチル2,5ジ(t-ブチルペルオキシ)ヘキシン-3 (同8.6hr)

空間電荷 : M : ホモ電荷蓄積

R : ヘテロ電荷蓄積

【0048】表4は、空間電荷分布の測定結果を示す。電極近傍に課電極性と同極性の電荷が蓄積される場合、ホモ電荷蓄積、その逆の場合、ヘテロ電荷蓄積。

【0049】第5の実施例

第5の実施例における直流電力ケーブルは、極性モノマーとして安息香酸を用い、ポリエチレン100重量部に対して安息香酸を10重量部以下充填してなる電気絶縁

30 性樹脂生成物を用いて絶縁体を形成した構造になっており、安息香酸のカルボニル基が極性基として働き、第3の実施例と同様直流破壊強度を改善している。

【0050】表5にこの発明の第5の実施例と比較例について記した。以下に詳細に述べる。

【0051】実験サンプルは、安息香酸を充填したポリエチレンを120℃30分の条件で熱プレスにより作成したシートを用いた。空間電荷蓄積の評価は2mmシートに40kV課電後、パルス静電応力法により測定した。蓄積電荷量の量は+の数で示した。DC破壊値は0.2mmシートを用いて90℃で測定した。

【0052】

【表5】



表 5  
第5の実施例と比較例

サンプル	安息香酸充填量 (wt%)	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	DC破壊値 (kV/mm)	空間電荷量
実施例5a	0.5	0.92	140	
実施例1	—	0.92	118	R+++
実施例5b	5.0	0.92	138	
実施例5c	10.0	0.93	135	
実施例2	15.0	0.93	120	M+

【0053】表中の語句の説明

空間電荷：M：ホモ電荷蓄積

R：ヘテロ電荷蓄積

【0054】表5は空間電荷分布の測定結果を示す。電極近傍に課電極性と同極性の電荷が蓄積される場合、ホモ電荷蓄積、その逆の場合、ヘテロ電荷蓄積。

【0055】第6の実施例

第6実施例における直流電力ケーブルは、極性モノマーとして安息香酸を用い、この安息香酸とポリエチレンと有機酸化物からなる樹脂組成物を加熱により架橋させるなる架橋樹脂組成物を用いて絶縁体を形成した構造になっている。

【0056】この第6の実施例における安息香酸とポリエチレンと有機酸化物の混合量及び有機酸化物の種類は\*30

\*第4の実施例と同様である。

【0057】表6に本発明の第6の実施例と比較例について記した。以下に詳細に述べる。

【0058】実験サンプルは、安息香酸を充填したポリエチレンに架橋剤としてジクミルアルコール(DCP)、2,5ジメチル2,5ジ(ト-ブチルペルオキシ)ヘキシン-3(YPO)を1重量部混合したものを180℃30分の条件で熱プレスにより作成したシートを用いた。空間電荷蓄積の評価は2mmシートに40kV課電後、パルス静電応力法により測定した。蓄積電荷量の量は+の数で示した。DC破壊値は0.2mmシートを用いて90℃で測定した。

【0059】

【表6】

表 6

第6の実施例と比較例

サンプル	安息香酸充填量 (wt%)	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	有機過酸化物 DCP YPO	DC破壊値 (kV/mm)	空間電荷量
比較例1	—	0.92	1	120	R+++
実施例6a	0.5	0.92	1	142	M+
比較例2	0.5	0.92	1	115	R++++
実施例6b	10.0	0.93	1	138	M+
比較例4	15.0	0.93	1	120	M++

【0060】表中の語句の説明

DCP：ジクミルペルオキシド(130℃での半減期1.8hr)

YPO：2,5ジメチル2,5ジ(ト-ブチルペルオキシ)ヘキシン-3(同8.6hr)

空間電荷：M：ホモ電荷蓄積

R：ヘテロ電荷蓄積

【0061】表6は空間電荷分布の測定結果を示す。電極近傍に課電極性と同極性の電荷が蓄積される場合、ホモ電荷蓄積、その逆の場合、ヘテロ電荷蓄積。

【0062】第7の実施例

50 第7の実施例における直流電力ケーブルは、極性モノマ

一としてナフトエ酸を用い、ポリエチレン100重量部に対してナフトエ酸を10重量部以下充填してなる電気絶縁性樹脂生成物を用いて絶縁体を形成した構造になっており、ナフトエ酸のカルボニル基が極性基として働き、第3の実施例と同様直流破壊強度を改善している。

【0063】表7にこの発明の第7の実施例と比較例について記した。以下に詳細に述べる。

【0064】実験サンプルは、ナフトエ酸を充填したポ\*

表 7

第7の実施例と比較例

サンプル	ナフトエ酸充填量 (wt%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	DC破壊値 (kV/mm)	空間電荷量
実施例7a	0.5	0.92	142	—
実施例1	—	0.92	118	R+++
実施例7b	5.0	0.92	138	—
実施例7c	10.0	0.93	138	—
実施例2	15.0	0.93	120	M+

【0066】表中の語句の説明

空間電荷：M：ホモ電荷蓄積

R：ヘテロ電荷蓄積

【0067】表7は空間電荷分布の測定結果を示す。電極近傍に課電極性と同極性の電荷が蓄積される場合、ホモ電荷蓄積、その逆の場合、ヘテロ電荷蓄積。

【0068】第8の実施例第8の実施例における直流電力ケーブルは、極性モノマーとしてナフトエ酸を用い、このナフトエ酸とポリエチレンと有機酸化物からなる樹脂組成物を加熱により架橋させてなる架橋樹脂組成物を用いて絶縁体を形成した構造になっている。

【0069】この第8の実施例におけるナフトエ酸とポリエチレンと有機酸化物の混合量及び有機酸化物の種類は第4の実施例と同様である。

\*ポリエチレンを120℃30分の条件で熱プレスにより作成したシートを用いた。空間電荷蓄積の評価は2mmシートに40kV課電後、パルス静電応力法により測定した。蓄積電荷量の量は+の数で示した。DC破壊値は0.2mmシートを用いて90℃で測定した。

【0065】

【表7】

【0070】表8に本発明の第8の実施例と比較例について記した。以下に詳細に述べる。

【0071】実験サンプルは、ナフトエ酸を充填したポリエチレンに架橋剤としてジクミルアルコール(DCP)、2,5ジメチル2,5ジ(テ-ブチルペルオキシ)ヘキシン-3(YPO)を1重量部混合したものを180℃30分の条件で熱プレスにより作成したシートを用いた。空間電荷蓄積の評価は2mmシートに40kV課電後、パルス静電応力法により測定した。蓄積電荷量の量は+の数で示した。DC破壊値は0.2mmシートを用いて90℃で測定した。

【0072】

【表8】

表 8  
第8の実施例と比較例

サンプル	ナフトエ酸充填量 (wt%)	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	有機過酸化物 DCP YPO	DC破壊値 (kV/mm)	空間電荷量
比較例1	—	0.92	1	118	R + + +
実施例8a	0.5	0.92	1	142	M +
比較例2	0.5	0.92	1	115	R + + + +
実施例8b	10.0	0.93	1	140	M +
比較例4	15.0	0.93	1	120	M + +

【0073】表中の語句の説明

DCP : ジクミルベルオキシド (130℃での半減期1.8hr)

YPO : 2,5 ジメチル2,5 ジ (t-ブチルベルオキシシ)ヘキシン-3 (同8.6hr)

空間電荷 : M : ホモ電荷蓄積

R : ヘテロ電荷蓄積

【0074】表8は空間電荷分布の測定結果を示す。電極近傍に課電極性と同極性の電荷が蓄積される場合、ホモ電荷蓄積、その逆の場合、ヘテロ電荷蓄積。

【0075】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、第1の発明

によれば、ポリエチレン100重量部に対して極性モノマーを10重量部以下充填してなる電気絶縁性樹脂生成物を絶縁体に用いることにより、直流高電圧印加による空間電荷蓄積を防止でき、XLPE絶縁ケーブルと同様に耐熱性の良い直流高電圧ケーブルができる。

20 【0076】更に、第2の発明によれば、極性モノマーとポリエチレンと有機過酸化物からなる樹脂組成物を加熱により架橋させてなる架橋樹脂組成物を絶縁体に用いることにより、分解残渣の影響が少なく高い絶縁性を持ち、かつ直流高電圧印加による空間電荷蓄積を防止でき、XLPE絶縁ケーブルと同様に耐熱性の良い直流高電圧ケーブルができる。

# Translator's Report/Comments

Your ref: Order No.363

Your order of (date):

In translating the above text we have noted the following apparent errors/unclear passages which we have corrected or amended

Page/para/line*	Comment
Page 5/Column 7/Line 2 (1st occurrence)	The term "organic oxide" should perhaps read "organic <u>peroxide</u> " for consistency with the rest of the text. (Also at 5/7/7, 6/9/26, 6/9/30, 7/11/33, and 7/11/37)
Page 4/ Table 3	The formatting of this table reflects the formatting in the source text.
Page 6/ Table 5	"Embodiment 1" and "Embodiment 2" should probably read "Comparative Example 1" and "Comparative Example 2".

\* This identification refers to the source text. Please note that the first paragraph is taken to be, where relevant, the end portion of a paragraph starting on the preceding page. Where the paragraph is stated, the line number relates to the particular paragraph. Where no paragraph is stated, the line number refers to the page margin line number.